

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	継続時間が長い外乱下での粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析
Title(English)	
著者(和文)	佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎
Authors(English)	Daiki Sato, KAZUHIKO KASAI, TETSURO TAMURA
出典(和文)	日本風工学会誌, Vol. 30, No. 103, pp. 209-210
Citation(English)	, Vol. 30, No. 103, pp. 209-210
発行日 / Pub. date	2005, 4

## 継続時間が長い外乱下での粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析

### 3D-FEM for Viscoelastic Damper under the Long Duration Loading

○佐藤大樹<sup>1)</sup> 笠井和彦<sup>2)</sup> 田村哲郎<sup>3)</sup>  
 Daiki SATO<sup>1)</sup> Kazuhiko KASAI<sup>2)</sup> Tetsuro TAMURA<sup>3)</sup>

#### 1. はじめに

粘弾性ダンパーは風応答のような微小な振動に対しても有効な制振装置である。粘弾性体は仕事を熱エネルギーへと変換するが、粘弾性体内部の温度が上昇にともない、剛性およびエネルギー吸収能力は低下する。粘弾性ダンパーのモデル化する場合、内部温度の上昇を精度良く再現する必要がある。

地震のような継続時間が短い場合、熱伝導や熱伝達の影響を無視できるほど小さいことから、粘弾性体内部の温度および歪を一様と考えてきた。これは、継続時間が短い場合は、十分に妥当な仮定<sup>1)</sup>であるが、風外乱のように継続時間が長い場合、熱伝導および熱伝達の効果により中心部の温度は高く、逆に鋼板近くや表面の温度は低くなる。粘弾性内部が温度分布をもつことに伴い、歪分布も一様でなくなる。

継続時間が長い場合の粘弾性ダンパー内部の温度分布を精度良く再現できる分数微分構成則が、Kasaiにより提案されている<sup>2)</sup>。そこでは、熱伝導係数の大きい鋼板に粘弾性体が挟まれていることから、熱の移動は粘弾性体の厚さ方向の1次的に表現できると仮定している。

本報では、分数微分構成則<sup>2)</sup>を用いた3次元有限要素解析手法を提案し、振動時における粘弾性体ダンパーの内部温度の把握、および1次元性の仮定の妥当性を確認することを目的とする。

#### 2. 実験概要

ダンパーは、2層の粘弾性体を鋼板に挟んだ形状となっている。試験は、振動数0.333Hz、歪50%の正弦波加振を3000秒間行う。その後2000秒間は加振を止め、温度低下を計測する。温度は4箇所で熱電対により計測する(図1)。ダンパー周辺温度は常に24°Cである。詳細は文献2を参照されたい。

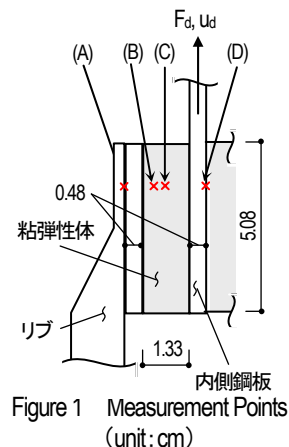


Figure 1 Measurement Points (unit: cm)

#### 3. 有限要素解析モデル

図2に3次元有限要素解析モデルを示す。解析にはABAQUSの変形-温度練成8節点立体アイソパラメトリック要素を用いた。粘弾性部分の分割数はそれぞれ、 $B_d=18, D_d=20, H_d=12$ であり、この分割数で解が十分に収斂していることを確認している。また、幾何学非線形性が解に与える影響は小さかったことから、本解析では考慮していない。解析パラメータを表1に示す。振動数が0.333Hzと低いことから、振動していることによる熱伝達の促進は小さいと考えられ、ダンパーの空気に触れている全ての面の熱伝達係数を等しくし、試行錯誤的に $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{C}$ と決定した。粘弾性体のポアソン比は、ロッキングを発生せず、かつ非圧縮性に近い $\nu=0.47$ とした。

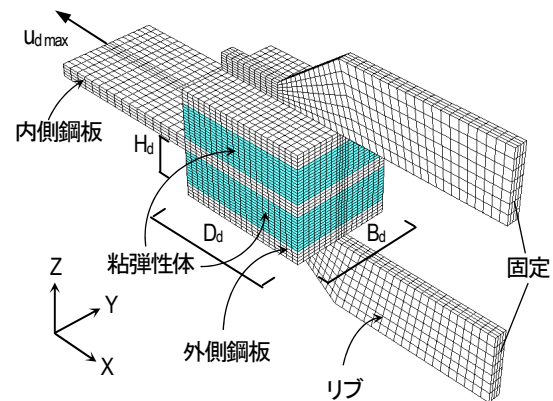


Figure 2 3D-FEM Model

Table 1 Parameter of 3D-FEM

粘弾性体		鋼板	
$s\rho$ (N/m <sup>2</sup> C)	193.97x10 <sup>4</sup>	$s\rho$ (N/m <sup>2</sup> C)	363.79x10 <sup>4</sup>
$\kappa$ (W/m°C)	0.188	$\kappa$ (W/m°C)	43.128
$\nu$	0.47	$\nu$	0.3
$\alpha_c$ (W/m <sup>2</sup> C)	25	$E$ (N/m <sup>2</sup> )	2.05x10 <sup>11</sup>
		$\alpha_c$ (W/m <sup>2</sup> C)	25

分数微分パラメータ						
$G$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	$a_{ref}$	$b_{ref}$	$\theta_{ref}$ (°C)	$p_1$	$p_2$
6.52x10 <sup>4</sup>	0.609	0.0115	21.157	0.2	19.5	80.2

1) 東京工業大学 大学院生

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

2) 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph.D

Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.

3) 東京工業大学環境理工学創造専攻 教授・工博

Prof., Dept. of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

#### 4. 有限要素解析手法

はじめに、ダンパー全体の初期温度を実験時のダンパー周辺温度 (24°C) とし、粘弾性体の要素 $j$ でのヤング係数 $E'_j$ を次式より算出する。ここで、 $\nu$ はポアソン比である。

$$E'_j = 2G'_j(1 + \nu) \quad (1)$$

$G'_j$ は分数微分構成則における、円振動数 $\omega$ での定常状態の式<sup>1)</sup>に要素位置を考慮した式(2)より得られる。

$$G'_j = G \frac{1 + a_j b_j \omega^{2\alpha} + (a_j + b_j) \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)}{1 + a_j^2 \omega^{2\alpha} + 2a_j \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (2)$$

ここで、 $a_j$ 、 $b_j$ は要素中心の温度を用いてシフトファクター<sup>1)</sup>より求める。

次に、内側鋼板に実験時のダンパー最大変位 $u_{d \max}$ だけ強制変位を与え静的解析を行う。

静的解析から得られる各要素での歪エネルギー $W_{s,j}$ は、 $V_j$ を要素 $j$ の体積とすると、式(3)で表される。

$$W_{s,j} = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k=1}^3 E' \varepsilon_{kk}^2 + G' (\gamma_{12}^2 + \gamma_{13}^2 + \gamma_{23}^2) \right\}_j \cdot V_j \quad (3)$$

ただし、式(3)に示す歪 $\varepsilon$ 、 $\gamma$ は要素中心位置での値である。

一方、定常振動している際の、要素 $j$ が1サイクルに成す仕事 $W_{d,j}$ は次式より求められる。

$$W_{d,j} = \pi \eta_j \left\{ \sum_{k=1}^3 E' \varepsilon_{kk}^2 + G' (\gamma_{12}^2 + \gamma_{13}^2 + \gamma_{23}^2) \right\}_j \cdot V_j \quad (4)$$

ここで、式(4)中の $\eta_j$ は要素 $j$ での損失係数<sup>1)</sup>であり、要素中心での温度を用いて式(5)より得られる。

$$\eta_j = \frac{(-a_j + b_j) \omega^\alpha \sin(\alpha\pi/2)}{1 + a_j b_j \omega^{2\alpha} + (a_j + b_j) \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (5)$$

式(3)と式(4)を比較することで、 $W_{d,j}$ は次式の如く表される。

$$W_{d,j} = 2\pi \eta_j W_{s,j} \quad (6)$$

要素 $j$ での単位体積および単位時間当たりの発熱量 $\dot{Q}_j$ は、 $T$ を加振試験での周期とすると式(7)より得られる。

$$\dot{Q}_j = \frac{W_{d,j}}{T \cdot V_j} \quad (7)$$

式(7)の発熱量を用いて3次元非定常熱伝導解析を $T$ 秒間行い、得られた粘弾性体部分の各要素での温度より、式(1)、(2)を用いて粘弾性部分のヤング係数 $E'_j$ を変更し、 $u_{d \max}$ の強制変形を内側鋼板に与え静的解析を再度行う。

以上を繰り返すことで、正弦波加振試験時の粘弾性ダンパーの内部温度および剛性の変化をシミュレートする。

#### 5. 有限要素解析結果

図3に温度時刻歴、図4にダンパー貯蔵剛性 $K_d$ <sup>1)</sup>を示す。温度および $K_d$ ともに、解析結果は実験結果と良く一致しており、本解析が精度良く実験をシミュレートできる手法であることが確認できた。

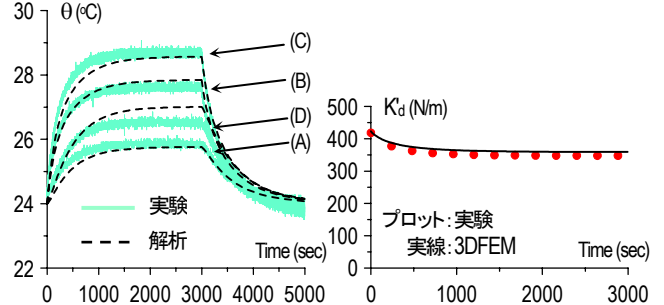


Figure 3 Temp. Time History

Figure 4 Storage Stiffness  $K_d$

図5(a)-(c)に解析より得られた3000秒での温度分布を示す。図5(b)より、Z方向の温度は位置によって異なり、分布を持つことが確認できる。一方、XおよびY方向の温度は、表面を除いてほぼ一様であることが図5(c)より確認できる。文献2で仮定した、温度分布が粘弾性体の厚さ方向の1次元性で表されることの妥当性が示された。

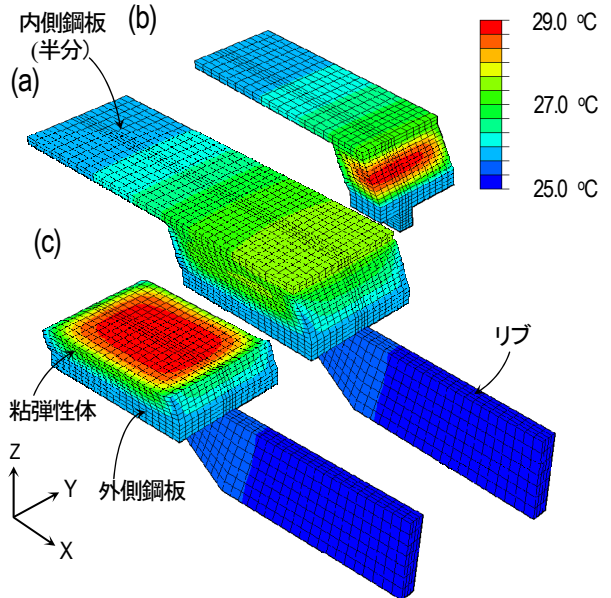


Figure 5 Temperature Distribution at 3000 seconds.

#### 6. まとめ

分数微分構成則を用いた粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析手法を提案した。解析結果は、実験結果と精度良く一致していることが確認できた。また、温度分布は厚さ方向に1次元的となることが分かった。

#### 参考文献

- 1) 笠井ほか・粘弾性体の温度・振動数・振幅依存性を考慮した構成則, 日本建築学会構造系論文報告集, 第561号, pp.55-63, 2002.11
- 2) Kasai, K. et al: Hysteric Model of Visco-Elastic Damper for Long Duration, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.929-830, 1997.9